

ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ХАРЧУВАННЯ ТА ТОРГІВЛІ

МАЯК ВІТАЛІЙ ІВАНОВИЧ

УДК 664.8:658.562.5

**НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ
ВИРОБНИЦТВА КОНЦЕНТРОВАНИХ ПРОДУКТІВ
З ПЛОДООВОЧЕВОЇ СИРОВИНИ**

Спеціальність 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних
та фармацевтичних виробництв

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському державному університеті харчування та торгівлі Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Михайлов Валерій Михайлович,
Харківський державний університет харчування
та торгівлі, проректор з наукової роботи, професор
кафедри процесів, апаратів та автоматизації
харчових виробництв

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Мирончук Валерій Григорович,
Національний університет харчових технологій,
завідувач кафедри технологічного обладнання
харчових виробництв

доктор технічних наук, професор
Калінін Лев Георгійович,
Одеська національна академія харчових технологій,
професор кафедри процесів, апаратів
та енергетичного менеджменту

доктор технічних наук, професор
Шапорев Валерій Павлович,
Національний технічний університет «Харківський
політехнічний інститут», завідувач кафедри хімічної
техніки і промислової екології

Захист відбудеться «25» травня 2010 р. о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.088.01 Харківського державного університету харчування та торгівлі за адресою: вул. Клочківська, 333, м. Харків, 61051.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського державного університету харчування та торгівлі за адресою: вул. Клочківська, 333, м. Харків, 61051.

Автореферат розісланий «22» квітня 2010 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

А.А. Дубініна

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Розширення ринків в Україні та за її межами може бути забезпечено підвищенням якості товарної продукції. У харчовій промисловості це завдання вирішується шляхом створення нових прогресивних технологій, що дозволяють одержувати натуральні високоякісні продукти з одночасним зменшенням втрат сировини, зниженням матеріальних і енергетичних витрат.

Глобальною проблемою держави є підтримка здоров'я нації. Найважливішим завданням для її вирішення є забезпечення населення повноцінними продуктами харчування. Плодоовочева сировина (ПОС) – це основне джерело вуглеводів, вітамінів, органічних кислот, мінеральних солей, дубильних, ароматичних й інших цінних у харчовому та лікувальному відношенні речовин. Однак у процесі переробки за існуючими технологіями більша частина біологічно активних речовин (БАР) втрачається. Тому актуальним завданням є створення нових способів переробки ПОС, що дозволяють зберігати БАР вихідної сировини. Такі технології дозволяють отримувати продукти лікувально-профілактичного, дієтичного харчування, в тому числі для харчування людей, що працюють в екстремальних умовах. Ці властивості мають високов'язкі концентровані продукти із ПОС.

Обладнання, що використовується при традиційних способах переробки ПОС, малоефективне і відрізняється значними енерговитратами. До того ж, розрахунок машин і апаратів здійснюється за застарілими методиками, розробленими без врахування структурно-механічних характеристик продукту. Тому підібране обладнання відрізняється підвищеною металоємністю та зайвим запасом потужності, що істотно відбивається на собівартості виробленої продукції.

Через недосконалість обладнання та існуючих способів виробництва втрати сировини досягають близько 60%, а високотемпературна обробка під час виробництва продукції призводить до втрати більше 50% БАР. У результаті на ринку країни відсутні високоякісні концентровані продукти з ПОС, вироблені економічно обґрунтованими способами з мінімальними втратами сировини.

Тому важливою науково-технічною проблемою є забезпечення населення України високоякісними концентрованими продуктами з ПОС при зниженні собівартості продукції і мінімальних втратах сировини за рахунок впровадження економічно обґрунтованих способів виробництва та ресурсозберігаючого обладнання, що підвищує конкурентоспроможність переробних підприємств.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота тематично пов'язана з Національною енергетичною програмою України, Міжгалузевою комплексною програмою України «Здоров'я нації» і виконувалась у Харківському державному університеті харчування та торгівлі відповідно до тематичних планів наукових досліджень кафедри процесів, апаратів та автоматизації харчових виробництв у межах держбюджетних тем: №8-91-96Б «Удосконалення процесів переробки харчових продуктів»; №5-97-2000Б «Розробка та дослідження процесів та апаратів для переробки сільськогосподарської сировини»; №7-01-05Б «Інтенсифікація процесів переробки харчової сировини»; №2-04-06Б (0104U002573) «Підвищення

ефективності переробки сільськогосподарської сировини»; №20-07-09Б (0106U013197) «Розробка енергозберігаючих процесів і удосконалення обладнання для концентрування дисперсних систем з рослинної сировини» (за замовленням МОН України).

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є наукове обґрунтування процесів і вдосконалення обладнання виробництва концентрованих продуктів із ПОС шляхом теоретичного моделювання процесів переробки з урахуванням структурно-механічних характеристик високов'язких рідин, розробки раціональних способів виробництва плодоовочевої продукції та проектування ефективного обладнання.

Для досягнення основної мети необхідно було вирішити наступні завдання:

- проаналізувати процеси та обладнання, що використовуються під час виробництва концентрованих продуктів;
- розробити ресурсозберігаючі способи виробництва концентрованих продуктів із ПОС – пастоподібних концентратів напоїв (ПКН) і цукатів;
- установити зсувні, компресійні та поверхневі характеристики ПКН і цукатів;
- дослідити реодинаміку, втрати тиску під час руху ПКН по трубах і розробити теоретичну модель їхнього плину в трубах під час транспортування;
- розробити теоретичну модель роботи шнекових нагнітачів для транспортування високов'язких концентрованих продуктів;
- розробити теоретичну модель формування цукатових мас;
- розробити конструкцію нової шнекової скребкової мішалки (ШСМ) і гідродинамічну модель її роботи під час перемішування високов'язких продуктів;
- визначити ефективність тепловіддачі в процесах виробництва концентрованих продуктів із використанням ШСМ;
- отримати кінетичні залежності в процесі вакуумного сушіння ПОС;
- оцінити якість ПКН і цукатів, отриманих новими способами й розробити технологічні лінії їхнього виробництва;
- визначити соціально-економічний ефект від упровадження науково-технічних розробок у виробництво і навчальний процес.

Об'єктом дослідження є процеси міжопераційного транспортування, перемішування та формування, вакуумного уварювання та сушіння, їх робочі параметри при виробництві ПКН і цукатів з ПОС.

Предметом дослідження є ПКН і цукати з ПОС (айви, порічки, чорної смородини, яблук, обліпихи, брусниці, агрусу, абрикосів, груш, мандаринів, винограду, інжиру, сливи, полуниці, аличі, апельсинів, дині, гарбуза, моркви), а також переробне обладнання для їх виробництва.

Методи дослідження: фізико-математичне моделювання гідромеханічних і тепло-масообмінних процесів, експериментальні методи з використанням сучасних вимірювальних засобів, статистична обробка результатів експериментальних досліджень.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова концепція дисертації полягає у розробці теорії процесів і вдосконаленні обладнання на основі створення теоретичних моделей гідромеханічних, тепло-масообмінних процесів, які базуються на структурно-механічних

характеристиках високов'язких продуктів, що дозволить отримати концентровані продукти з ПОС високої якості з великим вмістом БАР ефективними способами за мінімальних втрат сировини.

На підставі проведених теоретичних і експериментальних досліджень уперше:

- запропоновано наукові методи направлено регулювання структурно-механічних характеристик при виробництві високоякісних концентрованих харчових продуктів (ПКН і цукатів) з ПОС на підставі аналізу літературних даних і отриманих під час дослідження структурно-механічних характеристик раціональних значень фізико-механічних параметрів продуктів (розмірів твердих часток і вмісту сухих речовин);

- отримано залежності основних структурно-механічних характеристик ПКН і цукатів від тривалості зберігання, робочих параметрів процесів переробки (температури, надлишкового тиску) й тиксотропних властивостей, необхідних для розрахунку раціональних процесів і обладнання;

- встановлено закономірності одноосового стискання цукатової маси і розраховано компресійні характеристики продукту в умовах його транспортування та переробки;

- отримано теоретичні та експериментальні залежності поверхневих характеристик (липкості) ПКН і цукатів до окремих конструкційних матеріалів від основних параметрів липкості, які можуть бути використані під час проектування нового обладнання;

- розроблено фізичну модель реодинаміки ПКН в умовах його міжопераційного транспортування, отримано залежності гідравлічного опору під час транспортування ПКН по трубах;

- розроблено теоретичну модель плинну ПКН і цукатових мас по трубах і отримано залежності для проектування обладнання з раціональними енерговитратами;

- розроблено теоретичну модель плинну ПКН і цукатових мас по каналах шнекового нагнітача, проведене чисельне моделювання плинну в'язко-пластичних харчових мас шнековим каналом, що дозволило змодельовати геометрію шнекового каналу та сформулювати рекомендації зі зменшення витрат під час виготовлення шнекових нагнітачів;

- запропоновано теоретичну модель процесу формування цукатових мас, що враховує структурно-механічні характеристики продукту, отримано теоретичні залежності для розрахунку і проектування формувальних пристроїв;

- розроблено гідродинамічну модель перемішування високов'язкої рідини із застосуванням ШСМ і отримано гідродинамічні залежності, що підтверджують ефективність використання запропонованої мішалки;

- встановлено механізм тепловіддачі при вакуумному випарюванні під час виробництва ПКН в апараті з ШСМ, отримано узагальнені залежності для розрахунку апарата й вибору раціонального режиму процесу уварювання;

- отримано закономірності кінетики вакуумного сушіння ПОС, що дозволяють прогнозувати тривалість процесу сушіння.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

- запропоновано методологічні підходи використання структурно-механічних характеристик для визначення раціональних робочих параметрів процесів виробництва концентрованих продуктів та проектування ресурсозберігаючого обладнання;
- розроблено нові способи виробництва ПКН і цукатів, обґрунтовано їх рецептурний склад і оцінено якість отриманої продукції;
- розроблено нову конструкцію ШСМ для отримання концентрованих продуктів із ПОС;
- визначено найбільш раціональні конструкційні матеріали обладнання для виробництва ПКН і цукатів;
- запропоновано методику розрахунку обладнання для міжопераційного транспортування високов'язких концентрованих продуктів;
- розроблено рекомендації по зменшенню витрат під час виготовлення шнекових нагнітачів;
- розроблено технологічні лінії для виробництва ПКН і цукатів, підібране необхідне ресурсозберігаюче технологічне обладнання;
- розроблено нормативну документацію на нову продукцію і проектну документацію на запропоноване обладнання.

На наукові розробки отримані охоронні документи: авторські свідоцтва СРСР (№1510820 «Способ получения пастообразного концентрата для приготовления безалкогольного напитка», №1703037 «Способ получения цукатов»); деклараційні патенти України на винахід (№64942 А «Спосіб одержання концентрованого продукту», №70704 А «Спосіб одержання пастоподібного концентрату для приготування безалкогольного напою»); деклараційні патенти України на корисну модель (№6435 «Спосіб одержання цукатів», №6436 «Спосіб одержання пастоподібного концентрату для приготування безалкогольного напою»); патент України на корисну модель №24105 «Пристрій для перемішування в'язких харчових продуктів».

Розроблено та затверджено: нормативну документацію ТУ У 15.3-01566330-156-2004 «Пастоподібні концентрати напоїв на основі плодоовочевої сировини», ТУ У 15.3-015.01566330-229:2010 «Цукати плодово-ягідні та овочеві (структуровані)»; проектну документацію на вакуум-випарний апарат зі ШСМ; методичні рекомендації по розрахунку вакуум-випарного апарата зі ШСМ.

Реалізація роботи. Промислові випробування розробленого обладнання й технологічних процесів виробництва ПКН і цукатів були проведені на наступних підприємствах: ВАТ «Московський» (Харківська обл., акт від 05.06.04 р.); ЗАТ кондитерська фабрика «Харків'янка» (м. Харків, акт від 09.01.07 р.); ТОВ «Роменський завод продтоварів» (м. Ромни Сумської обл., акти від 09.09.09 р., 14.09.09 р., 17.09.09 р., 21.09.09 р., 23.09.09 р.). Наукові розробки упроваджено в навчальний процес ХДУХТ (акт від 25.09.09 р). Економічний ефект від упровадження нових розробок становить 354 тис. грн на рік.

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі стану проблеми, формулюванні наукової концепції й мети досліджень, постановці завдань досліджень, складанні програм досліджень і керівництві з їх реалізації, участі в проведенні патентного пошуку та наукових експериментах, обробці дослідних даних, узагальненні отриманих результатів і формулюванні висновків, підготовці матеріалів до публікації та складанні заявок на винаходи, розробці нормативної та

проектної документації, проведенні заходів щодо упровадження науково-технічних розробок у виробництво та навчальний процес.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися й були схвалені на Міжнародній науково-практичній конференції «Управлінські та технологічні аспекти розвитку підприємств харчування та торгівлі» (м. Харків, 2003 р.), Міжвузівській науково-практичній конференції «Проблеми техніки і технології харчових виробництв» (м. Полтава, 2004 р.), Міжнародній науковій конференції «Пути повышения качества услуг общественного питания» (м. Саратов, 2005 р.), XI науково-методичній конференції «Людина та навколишнє середовище – проблеми безперервної екологічної освіти в вузах» (м. Одеса-Ізмаїл, 2005 р.), IV Міжнародній науково-практичній конференції «Наука і соціальні проблеми суспільства: харчування, екологія, демографія» (м. Харків, 2006 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Туризм і ресторанний бізнес: сучасні тенденції та перспективи розвитку» (м. Харків, 2007 р.), 73-ій науковій конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті» (м. Київ, 2007 р.), Всеукраїнській науковій конференції студентів «Актуальні проблеми розвитку харчових виробництв, ресторанного господарства і торгівлі» (м. Харків, 2007 р.), науково-практичних конференціях професорсько-викладацького складу ХДУХТ (м. Харків, 1991-2009 рр.).

Зразки наукових розробок були представлені на виставці нової продукції в рамках форуму «Наука Харківщини – виробництво» (м. Харків, 2004 р.), Міжнародній виставці-ярмарку «Харківщина індустріальна. Наука та виробництво» (м. Харків, 2005 р.), виставці-презентації Харківської області в рамках загальнодержавної виставочної акції «Барвіста Україна» (м. Київ, 2005 р.), спеціалізованій виставці «Наука Харківщини-2006» (м. Харків, 2006 р.), міжнародній виставці «Наука і виробництво. Продукти харчування, технології, обладнання» (м. Харків, 2007 р.), виставці-дегустації нової продукції сумісно з підприємством «Наша марка» (м. Харків, 2007 р.), міжнародній виставці «Наука і виробництво. Машинобудування Харківщини» (м. Харків, 2009 р.), виставках наукових досягнень ХДУХТ в рамках Міжнародних науково-практичних конференцій (м. Харків, 2006, 2007, 2009 рр.), а також на засіданні експертно-дегустаційної комісії ХДУХТ (м. Харків, 2006 р.), виробничій дегустації сумісно з корпорацією «Харківсадвинпром» (м. Харків, 2007 р.).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 52 наукові праці: 1 монографія, 32 статті (з них 31 – у фахових наукових виданнях, затверджених ВАК України), 2 авторських свідоцтва СРСР, 2 деклараційних патенти України на винахід, 2 деклараційних патенти України на корисну модель, 1 патент України на корисну модель, 12 тез доповідей на конференціях.

Структура й обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, 9 розділів, висновків, списку використаних джерел, що включає 418 найменувань, у тому числі 37 іноземних, і 11 додатків. Робота викладена на 316 сторінках, вона містить 106 рисунків, 55 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи та її значення для України, сформульовано мету і завдання дослідження, викладено наукову концепцію, новизну та практичне значення одержаних результатів, наведено відомості щодо реалізації та апробації роботи.

У першому розділі «Аналіз процесів і обладнання для виробництва концентрованих харчових продуктів із плодоовочевої сировини» у результаті аналітичного огляду літературних джерел встановлено, що існуючі способи виробництва не дозволяють отримувати концентровані продукти з високим вмістом БАР за мінімальних втрат сировини економічно обґрунтованими способами виробництва. До того ж, під час вибору процесів та проектування обладнання для виробництва концентрованих продуктів із ПОС не враховують структурно-механічні характеристики сировини. У результаті цього процеси та обладнання є недостатньо ефективними та характеризуються значними, часто не виправданими енергетичними та матеріальними витратами. Тому розробка теорії процесів і вдосконалення обладнання на основі створення теоретичних моделей гідромеханічних і тепло-масообмінних процесів, що базується на структурно-механічних характеристиках продуктів, дозволить отримати концентровані продукти з ПОС високої якості з великим вмістом БАР ефективними способами за мінімальних втрат сировини.

У другому розділі «Об'єкти, методи досліджень і експериментальні установки» наведено характеристику сировини, методики та методи досліджень гідродинамічних, тепло-масообмінних, механічних, структурно-механічних, фізико-хімічних, мікробіологічних показників. Наведено схеми експериментальних установок для дослідження гідродинаміки та тепло-масообміну в процесах перемішування, вакуумного уварювання, вакуумного сушіння продуктів із ПОС. Подано схеми установок і приладів для вивчення зсувних, компресійних і поверхневих реологічних властивостей концентрованих продуктів з ПОС, наведено їхні характеристики, діапазони параметрів дослідження та методи визначення їхніх результуючих значень.

Під час дослідження зсувних, компресійних і поверхневих реологічних властивостей, фізико-хімічних і мікробіологічних показників концентрованих продуктів використовувалися стандартні методики та прилади.

Для вивчення процесів вакуумного уварювання та вакуумного сушіння були розроблені експериментальні установки з автоматичним регулюванням основних параметрів досліджуваного процесу (температури, тиску, витрат енергії).

Для обробки експериментальних даних було розроблено програми в середовищі пакета MathCad, що дозволили здійснити апроксимацію структурно-механічних характеристик ПКН, цукатів і робочих параметрів процесів переробки.

У третьому розділі «Розробка ресурсозберігаючих способів виробництва концентрованих продуктів із плодоовочевої сировини» запропоновано наукові методи направлено регулювання структурно-механічних характеристик і наведено модельні схеми розробки нових ресурсозберігаючих способів виробництва концентрованих продуктів із ПОС, а саме ПКН та

цукатів. Запропоновано ресурсозберігаючі процеси отримання нової продукції, які передбачають на етапі концентрування уварювання під вакуумом (для ПКН) і вакуумне сушіння (для цукатів).

Реологічні дослідження показали, що значення основних структурно-механічних характеристик досліджуваних видів продукції на основі різної сировини між собою розрізняються несуттєво (в межах $\pm 16\%$), тому при подальших дослідженнях можна було використовувати усереднені їхні значення (рис. 1).

Вибираючи раціональний розмір часток варто прагнути до менших його значень, що підвищує органолептичні властивості продукції внаслідок отримання більш однорідної структури. У той же час, зменшення розміру часток призводить до підвищення в'язкісних характеристик продукту (рис. 1, а, б). Збільшення величини в'язкості ПКН і цукатів призводить до збільшення витрати енергії під час їх перемішування, транспортування (внаслідок зростання гідравлічного опору), а також в процесах розчинення ПКН при виробництві напою. Зменшення розміру часток менше ніж $(1\pm 0,1)\cdot 10^{-4}$ м для ПКН та $(1,8\pm 0,1)\cdot 10^{-3}$ м для цукатів призводить до значного росту в'язкісних характеристик.

Вміст сухих речовин також істотно впливає на структурно-механічні характеристики концентрованого продукту (рис. 1, в, г). Зі збільшенням вмісту сухих речовин вище $(76\pm 1)\%$ для ПКН та $(86\pm 1)\%$ для цукатів в'язкісні характеристики значно зростають, при цьому у цукатів з'являються тріщини під час формування. З іншого боку, за менших значень вмісту сухих речовин зменшується термін зберігання ПКН, а цукати в процесі формування не зберігають форму.

Таким чином, вищевказані значення розмірів твердих часток та вмісту сухих речовин для ПКН і цукатів слід вважати як найбільш раціональні. З урахуванням цих даних і раціональних процесів переробки (вакуумні уварювання і сушіння) здійснювалося відпрацьовування нових ресурсозберігаючих способів виробництва і рецептур ПКН і цукатів на основі різноманітної ПОС.

У четвертому розділі «Дослідження зсувних структурно-механічних характеристик у процесах виробництва високов'язких концентрованих продуктів» наведено результати досліджень зміни структурно-механічних характеристик ПКН і цукатів у процесі зберігання та залежно від значень робочих параметрів процесів переробки (температури, тиску).

У процесі зберігання ПКН і цукатів спостерігається два періоди зміни структурно-механічних властивостей (рис. 2). Перший період – найбільш раціональний термін зберігання (для ПКН і цукатів – 15 місяців), коли структурно-механічні властивості продукту практично не змінюються. Другий період – 15...30 місяців – період «активного старіння», коли в'язкісні та інші характеристики різко зростають. У цей період ефективна в'язкість при одиничній швидкості зсуву V_0^* , що є найбільш значимою характеристикою в'язкісних властивостей структурованих продуктів, для ПКН і цукатів зростає на $(20...30)\%$. Тривалість процесу розчинення ПКН під час виробництва напою збільшується в 2...3 рази, а структура цукатів стає високоміцною, крихкою, з'являються тріщини в продукті; продукти втрачають більшу частину вітамінів та погіршуються їх органолептичні властивості. Таким чином, рекомендований термін зберігання ПКН і цукатів складає $15\pm 0,5$ місяців.

а)

б)

в)

г)

Рис. 1. Структурно-механічні характеристики ПКН (а, в) і цукатів (б, г): а, б – з різним розміром часток d ; в, г – з різним вмістом сухих речовин a (σ_0 – межа плинності; σ_d – динамічна межа плинності; B_0^* – ефективна в'язкість при одиничній швидкості зсуву; m – темп руйнування структури; $\eta_{пл}$ – пластична в'язкість)

а) б)

Рис. 2. Структурно-механічні характеристики за різної тривалості зберігання τ (кількість місяців): а – ПКН; б – цукати (σ_0 – межа плинності; σ_d – динамічна межа плинності; B_0^* – ефективна в'язкість при одиничній швидкості зсуву; m – темп руйнування структури; $\eta_{пл}$ – пластична в'язкість)

Процеси виробництва ПКН і цукатів за розробленими способами пов'язані з впливом температури і тиску на структурно-механічні характеристики продукта під час уварювання, транспортування, дозування, формування. Збільшення температури викликає зниження значень більшості структурно-механічних характеристик ПКН і цукатів (рис. 3). Це обумовлено збільшенням інтенсивності теплового руху молекул, що призводить до ослаблення міцності структури в цілому. У процесах виробництва ПКН і цукатів ефективна в'язкість зі збільшенням температури зменшується, що призводить до повного руйнування просторової сітки продукту при температурі (50...60)°С; енерговитрати на транспортування продукту в цих умовах будуть мінімальними.

При надлишковому тиску значення більшості структурно-механічних характеристик ПКН і цукатів зростають. Це пояснюється тим, що збільшення тиску викликає переорієнтацію часток у більш компактне їхнє розміщення, при цьому кількість і об'єм повітряних порожнин скорочується, і відбувається ущільнення маси продукту.

а)

б)

в)

г)

Рис. 3. Залежність структурно-механічних характеристик від температури t і тиску P : а, б – цукати; в, г – ПКН (B_0^* – ефективна в'язкість за одиничної швидкості зсуву; σ_0 – межа плинності; – напрямок зміни параметрів P, t)

Найбільш помітний (суттєвий) вплив тиску на структурно-механічні характеристики ПКН і цукатів проявляється при надлишковому тиску до 0,25 МПа. Отримані дані можуть бути використані для спрямованого регулювання структурно-механічних характеристик продуктів, при їхньому виробництві, а також при розрахунках обладнання.

Найважливішою характеристикою харчових продуктів є густина, на величину якої найбільший вплив має тиск. Збільшення густини $\Delta\rho$ в діапазоні зміни тиску від 0,1 до 1,5 МПа для всіх досліджуваних ПКН і цукатів не перевищує 110 кг/м³, що пояснюється малою кількістю порожнеч у структурі продукту.

Особливістю систем з коагуляційною структурою є проявлення тиксотропних властивостей. Як показали результати досліджень (рис. 4), коефіцієнт тиксотропності ПКН зі збільшенням швидкості зсуву зменшується і досягає одиниці при ньютонівському режимі плинну. Найбільше значення коефіцієнта тиксотропності спостерігається при швидкості зсуву близько 5 с⁻¹. Збільшення надлишкового тиску призводить до зменшення тиксотропних проявів. Аналогічні закономірності спостерігаються також і у цукатів.

а)

б)

Рис. 4. Залежність тиксотропних властивостей ПКН від тиску (за температури 20°C), МПа: а – 0,1; б – 1,0 (1 – за умови зростання швидкості зсуву; 2 – за умови зменшення швидкості зсуву)

Проведеними дослідженнями встановлено, що у разі збільшення температури продукту значення коефіцієнта тиксотропності зменшується, і при досягненні температури 50°C тиксотропні властивості повністю зникають. При зміні тиску найбільше значення коефіцієнта тиксотропності спостерігається у ПКН і цукатів у межах 100...200 кПа, при подальшому збільшенні тиску проявлення тиксотропних властивостей зменшується і повністю зникає при 500 кПа.

На підставі цих результатів доведено, що під час розрахунків обладнання дозування й формування доцільно враховувати тиксотропні властивості продукту, оскільки ці процеси відбуваються при низьких значеннях тиску (менше 500 кПа), а розраховуючи транспортуючі пристрої, що працюють за більш високих значень надлишкового тиску, тиксотропний процес не відіграє важливої ролі, та ним можна зневажити.

Таким чином, у результаті досліджень структурно-механічних характеристик було показано, що розроблені ПКН і цукати є неньютонівськими рідинами, «густими пастами» і належать до твердоподібних неідеальнопластичних систем, що описуються рівнянням Гершеля-Балклі, мають коагуляційну структуру і проявляють тиксотропні властивості.

У п'ятому розділі «Дослідження компресійних і поверхневих характеристик у процесах виробництва високов'язких концентрованих продуктів» було отримано залежності для визначення основних компресійних характеристик при деформації продукту за умов одноосьового стискання під час транспортування продуктів по трубопроводам і каналам робочих органів переробного обладнання, та поверхневі характеристики (липкість) залежно від конструкційних матеріалів.

Для опису деформаційного поведіння структур, що мають істотну подібність зі структурою цукатів, може бути використана реологічна модель процесу одноосьового стискання, запропонована П.А. Ребіндером (рис. 5, а). В реальних умовах процесу навантаження пластична деформація цукатової маси, що враховується елементом η_1 в моделі П.А. Ребіндера, зводиться до мінімуму. Тому для наближеного опису деформаційного поведіння цукатів запропоновано

спрощену реологічну модель (рис. 5, б), яка без цього елемента досить повно описує деформаційну поведінку цукатових мас.

Рис. 5. Реологічні моделі деформації цукатової маси: а – П.А. Ребіндера; б – спрощена модель

Для теоретичного дослідження процесу деформації були обрані обґрунтовані практикою режими деформації.

Для режиму миттєвого прикладання навантаження повна деформація описується рівнянням 1, при лінійному законі зміни навантаження $\sigma(t)$ – рівнянням 2:

$$(1), \quad (2)$$

де C – постійна швидкість зростання навантаження, с^{-1} ; η – ефективна в'язкість, $\text{Па}\cdot\text{с}$; ε – повна деформація, с^{-1} ; E_1 і E_2 – пружний і непружний модулі, Па ; t – час, с ; σ_0 – зовнішнє навантаження, Па .

При циклічній (знакозмінній) зміні зовнішньої напруги повна деформація описується рівняннями 3 та 4:

$$(3), \quad (4)$$

де ω – частота зміни навантаження, $\text{рад}/\text{с}$; ε_0 – амплітуда деформації, с^{-1} ; φ – зсув фаз між навантаженням і деформацією; (\cdot) , с .

При постійній швидкості деформації і постійному значенні деформації навантаження σ_0 визначають за рівняннями 5-7:

$$(5), \quad (6), \quad (7)$$

де

У результаті проведених теоретичних досліджень отримано рівняння для розрахунку липкості ПКН і цукатових мас у процесах їхнього виробництва:

$$(8), \quad , \quad (9)$$

де F_a – липкість, Н/м²; $A_{адг}$ – питома робота адгезії, Дж/кг; $A_{ког}$ – питома робота когезії, Дж/кг; w_c – швидкість збільшення зовнішнього зусилля, Н/с; h – товщина шару, м; α – параметр липкості, Н/м; c – параметр липкості, м²/с.

Експериментально визначено залежність липкості ПКН і цукатів до окремих конструкційних матеріалів від основних фізичних параметрів, результати яких можуть бути використані під час розрахунку обладнання за існуючими методиками. Установлено, що найменша липкість ПКН і цукатів до фторопласту, тому при проектуванні обладнання варто передбачати фторопластове покриття робочих елементів машин і апаратів.

На рис. 6 наведено залежності липкості ПКН «Мрія» до фторопластової пластини від вологовмісту і товщини шару продукта, а також швидкості відривання пластини за різного часу попереднього контакту. Прямолінійний характер графічних залежностей $1/F_a$ від основних реологічних характеристик підтверджує справедливість використання отриманих рівнянь для розрахунку параметрів липкості ПКН і цукатів.

а)

б)

Рис. 6. Залежність липкості ПКН «Мрія» до фторопласту: а – від товщини шару h за різного вологовмісту ($1-a$), %: 1 – 20; 2 – 25; 3 – 30; 4 – 35; 5 – 40; 6, 7 – параметри липкості α і c від вологовмісту; б – від швидкості відривання пластини з часом попереднього контакту τ_k , с: 8 – 3; 9 – 60; 10 – 180; 11 – 300; 12 – 600

Отримані результати досліджень компресійних та поверхневих характеристик концентрованих продуктів можуть використовуватися під час проектування транспортуючого та інших видів переробного обладнання з урахуванням їх реологічних особливостей.

У шостому розділі «Дослідження гідромеханічних процесів виробництва концентрованих продуктів» наведено результати досліджень процесів транспортування концентрованих продуктів із високою в'язкістю по круглим трубам, каналам шнекових нагнітачів і формувальних машин. Установлено, що гідравлічний опір ПКН під час руху по трубам зростає обернено пропорційно їх діаметру в межах 0,05...0,075 м і прямопропорційно довжині труби (рис. 7).

а)

б)

в)

Рис. 7. Залежність втрат тиску ПКН по довжині трубопроводу l під час руху з діаметром d , м: а – 0,05; б – 0,062; в – 0,075 (швидкість, м/с: 1 – 0,05; 2 – 0,11; 3 – 0,19; 4 – 0,24)

Розроблено теоретичну модель плинності в'язкопластичної рідини, подібної ПКН і цукатам, у круглих трубах з урахуванням часткового ковзання її по стінці, що відповідає реальному поведінню таких рідин. Використовуючи відоме рівняння руху рідин з високою в'язкістю з урахуванням ковзання рідини по стінці

$$\dots, \quad (10)$$

граничні умови мають вигляд:

$$\dots, \quad (11)$$

де w – швидкість рідини, м/с; w_k – швидкість ковзання, м/с; r – поточний радіус труби, м; η – ефективна в'язкість, Па·с; Δp – перепад тиску в трубі, Па; L – довжина труби, м; σ_0 – гранична напруга зсуву, Па; k_e – коефіцієнт ковзання.

Отримано теоретичні залежності для розрахунку транспортуючого обладнання, зокрема:

- профілю швидкостей ПКН і цукатових мас під час руху трубою $w(r)$:

$$\dots, \quad (12)$$

де m – темп руйнування структури; R – радіус труби, м; σ_0^* , Па, η_0^* , Па·с, γ_0 , с⁻¹ – емпіричні реологічні характеристики;

- максимальної швидкості по осі труби w_0 :

$$\dots; \quad (13)$$

- швидкості ковзання на стінці

$$\dots. \quad (14)$$

При цьому коефіцієнт ковзання, що входить до рівнянь (11-14),

$$\dots. \quad (15)$$

Середня швидкість w і втрата тиску на тертя ΔP розраховуються за рівняннями:

$$\dots, \quad (16), \quad \dots, \quad (17)$$

де Re_m – модифікований критерій Рейнольдса.

Критеріальне рівняння (17) дозволяє розраховувати втрати тиску на тертя з урахуванням коефіцієнта ковзання.

Запропоновано теоретичну модель плинну високов'язких рідин шнековим каналом і здійснено чисельне моделювання процесу плинну ПКН і цукатових мас прямокутним каналом шнекового нагнітача з урахуванням ковзання на границі в'язкого підшару. Кінцевим результатом чисельного моделювання є рівняння для визначення:

- витрати рідини через шнековий канал

$$\dots, \quad (18)$$

- потужності приводу шнека

$$\dots, \quad (19)$$

(20)

(21)

де l_e , a , b , D_e – відповідно, довжина, ширина, висота, еквівалентний діаметр каналу, м; α° – кут підйому гвинтової лінії каналу шнека; δ – товщина гребня гвинта шнека, м; n – частота обертання шнека, s^{-1} ; w_4 – швидкість рухомої стінки шнекового каналу, м/с; η – реологічний параметр, Па·с; κ – ККД привода; W_1 , W_2 – геометричні співвідношення шнекового каналу.

Наявність ковзання призводить до того, що високов'язка рідина переміщається переважно у верхній частині шнекового каналу, тому висота каналу практично не впливає на витрату рідини (рис. 8). З урахуванням цього запропоновано модернізувати форму шнекового каналу, зменшивши його висоту удвічі. Це дозволить зменшити вартість виготовлення шнека нагнітача.

Розроблено теоретичну модель процесу формування цукатової маси за допомогою формуючого пристрою валкового типу (рис. 9). Вона дозволяє описувати процес формування продуктів, що належить до неідеальнопластичних рідин, які підкорядковуються рівнянню Гершеля-Балклі.

Рис. 8. Профілі відносних швидкостей в шнековому каналі (y , x – розміри за висотою і шириною шнекового каналу)

Рис. 9. Схема формуючого пристрою валкового типу: 1 – валик; 2 – транспортуюча стрічка; 3 – цукатова маса; 4 – бункер (w_x , w_y , w – компоненти швидкості цукатової маси, м/с; w_0 – горизонтальна швидкість, м/с; R , h , h_0 , x_0 – геометричні параметри, м)

Використовуючи рівняння Нав'є-Стокса для стаціонарного плинку за умов відсутності масових сил і конвекції, отримано рівняння для розрахунку компоненти швидкості цукатової маси w_x , що враховує її реологічні особливості:

$$\dots, \quad (22)$$

де k, n – реологічні параметри; \dots – градієнт тиску, Па/м; ω – кутова швидкість валика, рад/с; y – плінна координата, м.

З використанням рівняння (22) отримана залежність для визначення продуктивності формувального пристрою Q , м³/с і потужності приводу N , Вт:

$$\dots, \quad (23)$$

де l – довжина полотна стрічки, м;

$$\dots, \quad (24)$$

де ΔP – перепад тиску, Па; N_1, N_2 – витрати потужності на подолання сил тертя, відповідно, на поверхні транспортуючої стрічки та поверхні валка, Вт; k – ККД приводу;

$$\dots; \quad (25)$$

$$\dots. \quad (26)$$

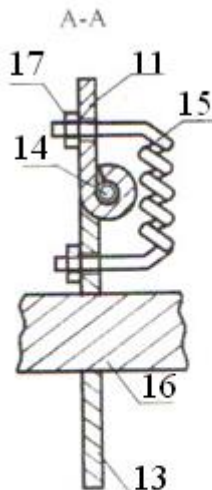
На підставі проведених розрахунків за рівняннями (22-26) отримано номограму (рис. 10), що дозволяє спростити проведення розрахунків об'ємної витрати і потужності приводу формувального пристрою.

Рис. 10. Залежності об'ємної витрати Q і потужності приводу формувального пристрою N від швидкості руху транспортерної стрічки w_0

У сьомому розділі «Удосконалення процесів і обладнання виробництва концентрованих продуктів» наведено результати теоретичних і експериментальних досліджень процесів перемішування високов'язких концентрованих продуктів за умов вакуумного уварювання і вакуумного сушіння ПОС під час виробництва ПКН і цукатів, а також удосконалення обладнання для уварювання.

На підставі результатів проведених досліджень потужності й ефективної в'язкості при перемішуванні високов'язких рідин було запропоновано удосконалити гідродинаміку в процесі перемішування продукту, що уварюється, шляхом прискорення конвективних потоків та їх направленої турбулізації і, тим самим, підвищити ефективність тепловіддачі. Це завдання вирішено шляхом застосування нової конструкції шнекової скребкової мішалки (ШСМ) для високов'язких рідин.

Для уварювання ПОС запропоновано використовувати вакуум-випарний апарат зі ШСМ (рис. 11). Апарат являє собою циліндричну обичайку, всередині якої змонтовано ШСМ, що виконана у вигляді безперервної гвинтової спіралі з закріпленими на ній скребками. Скребки мішалки під час її обертання попереджують прилипання продукту до стінок апарата, сприяють утворенню вихрових потоків, що призводить до суттєвого збільшення швидкості тепловіддачі та підвищення ефективності перебігу процесу випарювання.



а)

б)

Рис. 11. Схема вакуум-випарного апарата зі ШСМ: а – загальний вигляд; б – конструктивні елементи скребка мішалки: 1 – стінка апарата; 2 – гріюча оболонка; 3 – патрубок для подачі теплоносія; 4 – патрубок для виходу теплоносія; 5 – патрубок для виводу продукту; 6 – патрубок для завантаження сировини; 7 – привід мішалки; 8 – кришка апарата; 9 – мішалка; 10 – скребок; 11, 13 – відповідно, рухлива і нерухлива частини скребка; 12 – вузол кріплення мішалки; 14 – валик; 15 – пружина; 16 – спіраль мішалки; 17 – кріпильна гайка

Розроблена мішалка має багатофункційне призначення і може використовуватися для процесів перемішування високов'язких рідин під час виробництва різноманітних видів концентрованої продукції.

Розроблено гідродинамічну модель перемішування високов'язкої рідини шнековою скребковою мішалкою (рис. 12) з урахуванням реологічного рівняння Гершеля-Балклі для ПКН і цукатів, за яким напруга зсуву при впливі скребка мішалки

$$\sigma = \sigma_0 + K \dot{\gamma}^n \quad (27)$$

де σ_0 – гранична напруга зсуву, Па; K – коефіцієнт консистенції, Па·с; $\dot{\gamma}$ – швидкість зсуву, с⁻¹; n – індекс плинності.

а) б)

Рис. 12. Схеми руху рідини в шнековій мішалці: а – при обтіканні скребка; б – усередині мішалки: v_{z1} , v_{z2} – швидкості потоку з кормового боку скребка; v_{z3} – швидкість потоку на фронтальному боці скребка; v_{max} – лінійна швидкість скребка; v_{n+} , v_{n-} – вертикальна швидкість потоку, відповідно, вниз і вгору; A_0 , A_1 , A_2 – точки відрахунку на поверхні скребка; α – кут атаки скребка мішалки

Рівняння (27) у безрозмірному вигляді:

$$\sigma = \sigma_0 + K \dot{\gamma}^n \quad (28)$$

де σ – напруга зсуву, Па; σ_0 – гранична напруга зсуву, Па; K – коефіцієнт консистенції, Па·с; $\dot{\gamma}$ – швидкість зсуву, с⁻¹; n – індекс плинності; ρ – густина рідини, кг/м³; L – лінійний розмір скребка, м; ψ – безрозмірна товщина граничного шару на відповідній ділянці скребка.

Рішення рівняння (28) дозволило визначити швидкість основного прямого потоку ϖ_{n+} :

(29)

З рівняння (29) визначається залежність швидкості основного потоку від функції кута потоку $f(\alpha, n)$:

(30)

Графічна залежність функції $f(\alpha, n)$ від величини кута атаки α скребка мішалки показана на рис. 13. Найбільшій швидкості основного потоку відповідає максимальне значення функції $f(\alpha, n)$ і раціонального значення кута атаки скребка мішалки. Визначено, що під час перемішування рідинних систем з структурно-механічними характеристиками, близькими до ПКН і цукатів, діапазон раціонального кута атаки скребка мішалки знаходиться в межах від 49 до 60°.

Рис. 13. Залежність функції $f(\alpha, n)$ від кута атаки скребка мішалки, α° : 1 – ПКН, $n = 0,55$; 2 – цукатова маса, $n = 0,3$

Отримано емпіричну залежність, що дозволяє розрахувати раціональні значення кута атаки α° при перемішуванні ПКН і цукатів:

(31)

Використовуючи рівняння (29), отримано рівняння для визначення витрати рідини Q_v (м³/с) при розвантаженні апарата, що використовується при його проектуванні:

(32)

де γ – геометричний чинник мішалки; H – висота мішалки, м; L – характерний розмір скребка ($L=D/4$), м; D – діаметр мішалки, м.

Експериментальними дослідженнями доведено, що ефективна в'язкість ПКН під час перемішування за допомогою ШСМ зменшується на (15...30)% порівняно з використанням традиційної якірної мішалки. Очевидно, саме цим пояснюється зменшення витрат енергії на (20...50)% при перемішуванні у цей спосіб.

Досліджено вплив конструкції ШСМ на тепловіддачу в процесі вакуумного уварювання за умов механічного перемішування (рис. 14). Показано, що ефективність тепловіддачі за умови використання ШСМ на (50...55)% більше, ніж за використання традиційної якірної мішалки.

Отримане критеріальне рівняння тепловіддачі в процесі вакуумного уварювання ПКН за умов використання ШСМ:

$$(33)$$

де Re_c – відцентровий критерій Рейнольдса; Pr – критерій Прандтля; η, η_{cm} – ефективна в'язкість, відповідно, при середній температурі продукту і температурі стінки, Па·с; K_1, K_2 – критерії, що визначають, відповідно, кількість центрів утворення пари та частоту відриву пухирців.

Критеріальне рівняння (33) можна використовувати під час проектування теплообмінного обладнання з перемішувачами пристроями.

Рис. 14. Залежність коефіцієнта тепло-віддачі α від числа обертів мішалки n при діаметрі мішалки $d = 0,35$ м: \circ – ШСМ; \square – якірна мішалка (контроль)

Досліджено кінетику вакуумного сушіння ПОС, як основного процесу концентрування сировини під час виробництва цукатів. Аналіз наведених на рис. 17 кривих сушіння досліджуваної сировини дозволив запропонувати методологічні підходи до проведення теоретичних досліджень, в основу яких покладено визначення кінетичних коефіцієнтів вакуумного сушіння.

Рис. 15. Криві сушіння ПОС ($t = 45$ °С, $p = 5$ кПа): 1 – диня; 2 – морква; 3 – гарбуз; 4 – кабачок; 5 – абрикоси; 6 – яблука; 7 – полуниця

Результатом цих досліджень є отримання рівнянь для розрахунку кінетичних коефіцієнтів вакуумного сушіння ПОС і тривалості сушіння τ_c :

(34)

де k – кінетичний коефіцієнт, с^{-1} ; W_0 – початковий вологовміст, кг/кг ; W_k – кінцевий вологовміст, кг/кг ; n – безрозмірний кінетичний коефіцієнт.

При цьому

(35)

де ρ , ρ_0 – густина води й сухого тіла відповідно, кг/м^3 ; a_{ma} – середній ефективний коефіцієнт дифузії вологи за весь період сушіння, $\text{м}^2/\text{с}$; p_M – тиск пари над поверхнею тіла, що зневоднюється, Па; p – тиск у вакуумному апараті, Па.

У восьмому розділі «Оцінка якості концентрованих продуктів із плодоовочевої сировини та розробка технологічних ліній їх виробництва» проведено оцінку якості отриманих концентрованих продуктів із ПОС. Установлено, що під час виробництва ПКН і цукатів новими способами втрати БАР не перевищують 10% по відношенню до вихідної сировини. Показано, що вміст БАР у напоях, отриманих із ПКН, в 1,5 рази більше, ніж в аналогічних напоях, що виробляються промисловістю. У цукатах, отриманих пропонуванним способом, вміст БАР у 2,2 рази більше, ніж у цукатах, отриманих традиційним способом.

Таким чином, проведені дослідження показали, що розроблені ПКН і цукати є цінними харчовими продуктами й, порівняно із традиційними виробами подібного типу, мають більш високі харчові якості та виробляються ресурсозберігаючими способами.

Установлено, що гарантійний термін зберігання ПКН і цукатів без зниження якості – $15 \pm 0,5$ місяців, протягом якого зберігаються їх структурно-механічні, фізико-хімічні, органолептичні та мікробіологічні властивості.

З метою реалізації нових ресурсозберігаючих способів виробництва ПКН і цукатів було розроблено дві технологічні лінії, підбір обладнання для яких здійснено з урахуванням особливостей робочих параметрів виробничих процесів.

У дев'ятому розділі «Оцінка соціально-економічної ефективності та упровадження науково-технічних розробок у виробництво і навчальний процес» встановлено, що джерелами економічної ефективності від використання науково-технічних розробок є:

- зниження енерговитрат на процес перемішування на 20% за рахунок використання ШСМ;
- зменшення споживаної потужності перемішуючого та транспортуючого обладнання на 33% на одиницю обладнання за рахунок застосування більш точних методів розрахунку;
- зменшення втрат теплоти в навколишнє середовище на 44% внаслідок зниження температури процесу з 80 до 50° С;
- зменшення металоємності теплового обладнання у 2 рази за рахунок використання ШСМ.

Здійснено розрахунок економічної ефективності промислових ліній виробництва ПКН і цукатів. Показано, що вартість приготовленого із ПКН напою на 80% менше вартості аналога з роздрібного продажу. Ціна цукатів, отриманих за новим способом, на 34% менше, ніж цукатів, виготовлених традиційним способом. Економічний ефект від упровадження нових розробок становить 354 тис. грн на рік.

Установлено, що соціальна ефективність від упровадження результатів досліджень підтверджується:

- одержанням нових рецептур ПКН і цукатів, що розширюють асортимент продуктів масового попиту;
- розширенням сировинної бази за рахунок можливості використання практично будь-яких видів ПОС для виробництва ПКН і цукатів;
- високим вмістом БАР у ПКН і цукатах;
- можливістю широкого використання ПКН і цукатів як напівфабрикатів під час приготування різноманітної продукції, зокрема у молочних, хлібопекарських і кондитерських виробництвах;
- здатністю довгострокового зберігання ПКН і цукатів внаслідок високого вмісту сухих речовин, їхньої компактності та зручності транспортування і складування;
- зменшенням частки ручної праці та зниженням кількості обслуговуючого персоналу, а також використанням тільки вітчизняної сировини та обладнання під час виробництва ПКН і цукатів.

Проведено заходи для здійснення впровадження науково-технічних результатів досліджень у виробництво шляхом розробки нормативної документації (ТУ У 15.3-01566330-156-2004 «Пастоподібні концентрати напоїв на основі плодоовочевої сировини», ТУ У 15.3-01501566330-229:2010 «Цукати плодово-ягідні та овочеві (структуровані)») та проектної документації на вакуум-випарний апарат зі ШСМ. Здійснено робочі та промислові випробування з випуском дослідних партій продукції (до 3 тис. кг) на підприємствах: ВАТ «Московський» (Харківська обл.); ЗАК кондитерська фабрика «Харків'янка» (м. Харків); ТОВ «Роменський завод продтоварів» (м. Ромни Сумської обл.), що підтвердили ефективність запропонованих ресурсозберігаючих процесів і високу якість отриманих ПКН і цукатів за мінімальних втрат сировини.

Наукові розробки упроваджено в навчальний процес ХДУХТ шляхом застосування розроблених методичних рекомендацій з розрахунку вакуум-випарного апарата зі ШСМ у курсовому та дипломному проектуванні.

Нові продукти (ПКН і цукати) були представлені й обговорені на численних виставках, одержали високу оцінку на дегустаціях різного рівня й рекомендовані до широкомасштабного впровадження.

ВИСНОВКИ

1. У результаті аналітичного огляду літературних джерел встановлено, що важливою науково-технічною проблемою є забезпечення населення України високоякісними концентрованими продуктами з ПОС при зниженні собівартості продукції і мінімальних втратах сировини за рахунок впровадження економічно обґрунтованих способів виробництва та ресурсозберігаючого обладнання, що підвищує конкурентоспроможність переробних підприємств. Для вирішення цієї проблеми необхідно розробити теорію процесів і вдосконалити обладнання на основі створення теоретичних моделей гідромеханічних і тепло-масообмінних процесів, які базуються на структурно-механічних характеристиках продуктів, що дозволить отримати концентровані продукти з ПОС високої якості з великим вмістом БАР ефективними способами за мінімальних втрат сировини.

2. Запропоновано ресурсозберігаючі способи виробництва концентрованих продуктів із ПОС, зокрема ПКН і цукатів, що передбачають на етапі концентрування процеси вакуумного уварювання (для ПКН) і вакуумного сушіння (для цукатів). Реологічними дослідженнями доведено, що раціональними значеннями фізико-механічних параметрів є: розмір часток для ПКН – $(1 \pm 0,1) \cdot 10^{-4}$ м, для цукатів – $(1,8 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$ м, концентрація сухих речовин – $(76 \pm 1)\%$ та $(86 \pm 1)\%$ відповідно.

3. Визначено вплив робочих параметрів (температури, тиску) у процесах уварювання, транспортування, дозування, формування на структурно-механічні характеристики, тиксотропні властивості та густину концентрованих продуктів з ПОС. Встановлено раціональні значення робочих параметрів під час виробництва ПКН і цукатів, які можуть використовуватися при проектуванні ресурсозберігаючого обладнання. Показано, що розроблені ПКН і цукати є ньютонівськими рідинами, «густими пастами» і належать до твердоподібних неідеальнопластичних систем, мають коагуляційну структуру і проявляють тиксотропні властивості.

4. Отримано теоретичні залежності для визначення компресійних характеристик для різних режимів деформації високов'язких концентрованих продуктів та їх поверхневих характеристик за умов липкості до різних конструкційних матеріалів, які можуть використовуватися під час проектування транспортуючого та інших видів переробного обладнання з урахуванням їх реологічних особливостей.

5. Розроблено фізичну модель реодинаміки високов'язких концентрованих продуктів та встановлено залежність втрати тиску на тертя під час їх плину від швидкості транспортування і геометричних параметрів трубопроводів, а також теоретичну модель плину високов'язкої рідини у круглих трубах з урахуванням часткового ковзання по стінках обладнання, що відповідає реальному поведінню таких рідин. Розроблено методику розрахунку транспортуючих трубопроводів, що враховує реологічні особливості продуктів.

6. Здійснене чисельне моделювання процесу плину ПКН і цукатових мас прямокутним каналом шнекового нагнітача показало, що висота шнекового каналу практично не впливає на витрату рідини, тому можна зменшити його висоту удвічі й тим самим знизити собівартість

виготовлення шнека нагнітача. Розроблено теоретичну модель процесу плинущу цукатової маси під час формування неідеальнопластичних рідин, що за структурою є подібними цукатам, і отримано теоретичні залежності для розрахунку ресурсозберігаючого формуючого обладнання.

7. Запропоновано конструкцію нової ефективної шнекової скребкової мішалки (ШСМ) для перемішування високов'язких рідин, яка виконана у вигляді безперервної гвинтової спіралі з закріпленими на ній скребками. Розроблено гідродинамічну модель перемішування неідеальнопластичних рідини ШСМ і визначено раціональні значення кута атаки шкребка мішалки ($49...60^\circ$), що відповідає максимальній швидкості основних потоків. Доведено, що за умови використання ШСМ витрати енергії під час перемішування на (20...50)% менше, а ефективність тепловіддачі при вакуумному уварюванні на (50...55)% більше, ніж при використанні традиційної якірної мішалки. Отримано критеріальне рівняння тепловіддачі в процесі вакуумного уварювання ПКН, яке можна використовувати під час проектування теплообмінного обладнання з перемішувальними пристроями.

8. На підставі отриманих кінетичних залежностей вакуумного сушіння ПОС, як основного процесу концентрування сировини під час виробництва цукатів, запропоновано методологічні підходи до проведення теоретичних досліджень, в основу яких покладено визначення кінетичних коефіцієнтів вакуумного сушіння. Результатом цих досліджень є отримання рівнянь для розрахунку кінетичних коефіцієнтів і тривалості процесу вакуумного сушіння ПОС.

9. Установлено, що під час виробництва ПКН і цукатів запропонованими способами витрати БАР не перевищують 10% по відношенню до вихідної сировини. Вміст БАР у напоях, отриманих із ПКН, і цукатах, відповідно, в 1,5 і 2,2 рази більше, ніж у аналогічних напоях і цукатах, що виробляються за традиційними способами. Доведено, що гарантійний термін зберігання ПКН і цукатів без зниження якості – $15 \pm 0,5$ місяців, протягом якого зберігаються їх структурно-механічні, фізико-хімічні, органолептичні та мікробіологічні властивості.

10. З метою реалізації нових ресурсозберігаючих способів виробництва ПКН і цукатів було розроблено дві технологічні лінії, підбір обладнання для яких здійснено з урахуванням особливостей робочих параметрів виробничих процесів. Розрахунок економічної ефективності технологічних ліній виробництва ПКН і цукатів показав, що вартість напою, приготовленого із ПКН, і цукатів, отриманих розробленими способами, відповідно, на 80 і 34% менше вартості аналогічних продуктів, виготовлених традиційними способами. Економічний ефект від упровадження розроблених продуктів у виробництво становить 354 тис. грн на рік.

11. Проведено заходи щодо впровадження науково-технічних результатів досліджень у виробництво шляхом розробки нормативної документації на виробництво ПКН і цукатів і проектної документації на вакуум-випарний апарат зі ШСМ, та навчальний процес шляхом застосування розроблених методичних рекомендацій з розрахунку обладнання. Здійснено широкі і численні промислові та робочі випробування з випуском дослідних партій продукції (до 3 тис. кг), які підтвердили ефективність запропонованих ресурсозберігаючих процесів і високу якість отриманих ПКН і цукатів. Нові продукти (ПКН і цукати) були представлені на численних виставках, одержали високу оцінку на дегустаціях різного рівня й рекомендовані до широкомасштабного впровадження.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Маяк В. И. Гидромеханика высоковязких пищевых продуктов в процессах их производства : монография / В. И. Маяк, В. М. Михайлов, М. М. Смилык ; Харьковский государственный университет питания и торговли. – Х., 2007. – 213 с.
2. Маяк В. И. Использование отходов переработки плодов и овощей для производства цукатов / В. И. Маяк, Л. К. Карпенко // Технология и качество пищевых продуктов : сб. научн. трудов / Харьк. ин-т общ. пит. – Х., 1992. – С. 21–24.
3. Маяк В. И. Новая технология высококонцентрированных плодоовощных продуктов / В. И. Маяк, А. Б. Лишафаева, С. В. Семенист // Проблемы общественного питания на пути к рынку : сб. научн. трудов / Харьк. ин-т общ. пит. – Х., 1993. – С. 29–32.
4. Маяк В. И. Технология производства нового высоковязкого комбинированного продукта / В. И. Маяк, С. В. Семенист // Новые технологии пищевых производств и актуальные проблемы развития торговли и общественного питания : сб. научн. трудов / Харьк. гос. акад. техн. и орг. пит. – Х., 1995. – С. 146–149.
5. Маяк В. І. Наближене рішення задачі про плин в'язко-пластичних харчових мас по шнековому каналу суцільної форми / В. І. Маяк, М. С. Синєкоп // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України" : зб. наук. праць / Харк. нац. техн. ун-т с/г ім. П. Василенка. – Х., 2002. – Вип. 10. – С. 308–311.
6. Черевко О. І. Метод розрахунку потужності на перемішування неньютонівських рідин / О. І. Черевко, В. І. Маяк, О. А. Маяк // Прогресивні ресурсозберігаючі технології та їх економічне обґрунтування у підприємствах харчування. Економічні проблеми торгівлі : зб. наук. праць / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х., 2003. – С. 289–296.
7. Маяк В. И. Тиксотропные свойства пастообразных концентратов напитков / В. И. Маяк // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка «Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв» : зб. наук. праць / Харк. нац. техн. ун-т с/г ім. П. Василенка. – Х., 2004. – Вип. 28. – Т. 2. – С. 111–117.
8. Маяк В. И. Расчет производительности шнековых нагнетателей / В. И. Маяк // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2004. – № 2 (8). – С. 7–10.
9. Маяк В. І. Розрахунок потужності шнекового нагнітача / В. І. Маяк // Прогресивні ресурсозберігаючі технології та їх економічне обґрунтування у підприємствах харчування. Економічні проблеми торгівлі : зб. наук. праць у 2-х ч. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х., 2004. – Ч. 1. – С. 287–292.
10. Маяк В. І. Дослідження ефективної в'язкості пастоподібних концентратів напоїв залежно від вмісту сухих речовин / В. І. Маяк // Прогресивні ресурсозберігаючі технології та їх економічне обґрунтування у підприємствах харчування. Економічні проблеми торгівлі : зб. наук. праць у 2-х ч. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х., 2004. – Ч. 1. – С. 276–279.

11. Маяк В. І. Вплив розміру часток пастоподібного концентрату напою на ефективну в'язкість / В. І. Маяк // Прогресивні ресурсозберігаючі технології та їх економічне обґрунтування у підприємствах харчування. Економічні проблеми торгівлі : зб. наук. праць у 2-х ч. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х., 2004. – Ч. 1. – С. 293–296.
12. Черевко О. І. Залежність структурно-механічних властивостей цукатів від температури / О. І. Черевко, В. І. Маяк // Обладнання та технології харчових виробництв : зб. наук. праць / Дон. нац. ун-т екон. і торг. ім. М. Туган-Барановського. – Донецьк, 2005. – Вип. 12. – С. 76–82.
13. Черевко О. І. Розрахунок процесу формування цукатової маси / О. І. Черевко, В. І. Маяк // Обладнання та технології харчових виробництв : зб. наук. праць / Дон. нац. ун-т екон. і торг. ім. М. Туган-Барановського. – Донецьк, 2005. – Вип. 12. – С. 82–89.
14. Черевко О. І. Вплив терміну зберігання, температури та тиску на швидкість зсуву пастоподібних концентратів напоїв / О. І. Черевко, В. І. Маяк // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. праць / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х., 2005. – Вип. 1. – С. 77–85.
15. Маяк В. І. Розрахунок основних реологічних параметрів пастоподібних концентратів напоїв / В. І. Маяк // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. праць / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х., 2005. – Вип. 1. – С. 91–98.
16. Маяк В. І. Апроксимація залежності ефективної в'язкості пастоподібних концентратів напоїв від технологічних параметрів / В. І. Маяк // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. праць / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х., 2005. – Вип. 1. – С. 98–103.
17. Маяк В. І. Адгезійні властивості цукатів / В. І. Маяк, В. М. Михайлов, М. М. Смілик // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. праць / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х., 2005. – Вип. 2. – С. 220–225.
18. Маяк В. І. Розрахунок параметрів “кривої плинину” цукатів залежно від терміну зберігання і розміру частинок / В. І. Маяк, В. М. Михайлов // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. праць / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х., 2005. – Вип. 2. – С. 225–232.
19. Маяк В. І. Дослідження тиксотропних властивостей цукатів / В. І. Маяк, В. М. Михайлов, М. М. Смілик // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. праць / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х., 2005. – Вип. 2. – С. 232–238.
20. Михайлов В. М. Залежність реологічних властивостей цукатів від розміру твердих часток / В. М. Михайлов, В. І. Маяк, М. М. Смілик // Обладнання та технології харчових виробництв : зб. наук. праць / Дон. нац. ун-т екон. і торг. ім. М. Туган-Барановського. – Донецьк, 2006. – Вип. 14. – С. 238–243.
21. Михайлов В. М. Вплив вмісту сухих речовин на структурно-механічні характеристики цукатів / В. М. Михайлов, В. І. Маяк, М. М. Смілик // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. праць / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х., 2006. – Вип. 1 (3). – С. 157–162.

22. Михайлов В. М. Структурно-механічні властивості цукатів / В. М. Михайлов, В. І. Маяк, М. М. Смілик // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. праць / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х., 2006. – Вип. 1 (3). – С. 163–168.

23. Маяк В. І. Кінетика вакуумного сушіння плодово-ягідної та овочевої сировини / В. І. Маяк, В. М. Михайлов, М. М. Смілик // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. праць / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х., 2006. – Вип. 2 (4). – С. 231–236.

24. Маяк В. И. Новые технологии производства высоковязких концентрированных пищевых продуктов / В. И. Маяк, В. М. Михайлов, М. М. Смилык // Научно-прикладные аспекты технологии продуктов и организация общественного питания : сб. науч. тр. / Санкт-Петербург. торг.-эконом. ин-т. – СПб., 2006. – С. 80–84.

25. Пахомов П. Л. Дослідження липкості в процесах виробництва високов'язких концентрованих продуктів / П. Л. Пахомов, В. М. Михайлов, В. І. Маяк // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. праць / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х., 2007. – Вип. 2 (6). – С. 69–77.

26. Маяк В. И. Численное моделирование течения вязкопластичных масс по шнековому каналу прямоугольной формы / В. И. Маяк, В. М. Михайлов // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій : зб. наук. праць / Одеська нац. акад. харч. технологій. – Одеса, 2008. – Вип. 32 (35). – С. 69–72.

27. Маяк В. І. Шнекова скребкова мішалка для перемішування високов'язких харчових продуктів / В. І. Маяк, В. М. Михайлов // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. праць / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х., 2008. – Вип. 1 (7). – С. 163–168.

28. Маяк В. І. Гідродинамічна модель перемішування високовязкої рідини шнековою скребковою мішалкою / В. І. Маяк // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. праць / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х., 2008. – Вип. 2 (8). – С. 233–241.

29. Маяк В. І. Закономірності тепловіддачі в процесі виробництва ПКН / В. І. Маяк, В. М. Михайлов // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. праць / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х., 2009. – Вип. 1 (9). – С. 200–207.

30. Маяк В. І. Дослідження соціально-економічної ефективності виробництва ПКН і цукатів за новою технологією / В. І. Маяк, В. М. Михайлов // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. праць / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х., 2009. – Вип. 1 (9). – С. 207–214.

31. Маяк В. І. Модельні схеми розробки нових ресурсозберігаючих способів виробництва високоякісних пастоподібних концентратів напоїв (ПКН) і цукатів / В. І. Маяк, В. М. Михайлов, Б. В. Ляшенко // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. праць / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х., 2009. – Вип. 2 (10). – С. 49–57.

32. Маяк В. І. Нові ресурсозберігаючі способи виробництва пастоподібних концентратів напоїв і цукатів з плодово-ягідної сировини / В. І. Маяк, В. М. Михайлов, Б. В. Ляшенко // Прогресивні техніка

та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. праць / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х., 2009. – Вип. 2 (10). – С. 144–152.

33. Черевко О. І. Дослідження якості концентрованих продуктів із плодово-ягідної та овочевої сировини та розробка технологічних ліній їх виробництва / О. І. Черевко, В. І. Маяк, Д. В. Пастольник // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. праць / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х., 2009. – Вип. 2 (10). – С. 257–262.

34. А. с. 1510820 SU СССР, МПК А23L2/00. Способ получения пастообразного концентрата для приготовления безалкогольного напитка / Коваленко В. И., Маяк В. И. и др. (СССР). – № 4139645/30-13 ; заявл. 27.09.1986 ; опубл. 30.09.1989, Бюл. № 36. – 8 с.

35. А. с. 170337 SU СССР, МПК А23L1/06. Способ получения цукатов / Маяк В. И. и др. (СССР). – № 4725673/13 ; заявл. 31.07.1989 ; опубл. 07.01.1992, Бюл. № 1. – 4 с.

36. Деклараційний патент на винахід 64942 А Україна, МПК А23L1/01. Спосіб одержання концентрованого продукту / Єфремов Ю. І., Маяк В. І. ; заявник та патентовласник ХДУХТ (Україна). – № 2003032055 ; заявл. 07.03.2003 ; опубл. 15.03.2004, Бюл. № 3 – 4 с.

37. Деклараційний патент на винахід 70704 А Україна, МПК А23L2/00. Спосіб одержання пастоподібного концентрату для приготування безалкогольного напою / Черевко О. І., Маяк В. І., Маяк О. А. ; заявник та патентовласник ХДУХТ (Україна). – № 20031212231 ; заявл. 24.12.2003 ; опубл. 15.10.2004, Бюл. № 10 – 4 с.

38. Деклараційний патент на корисну модель 6436 Україна, МПК А23L2/00. Спосіб одержання пастоподібного концентрату для приготування безалкогольного напою / Черевко О. І., Маяк В. І., Маяк О. А. ; заявник та патентовласник ХДУХТ (Україна). – № 20040806739 ; заявл. 11.08.2004 ; опубл. 16.05.2005, Бюл. № 5 – 4 с.

39. Деклараційний патент на корисну модель 6435 Україна, МПК А21L1/06. Спосіб одержання цукатів / Черевко О. І. Михайлов В. М., Маяк В. І. ; заявник та патентовласник ХДУХТ (Україна). – № 20040806738 ; заявл. 11.08.2004 ; опубл. 16.05.2005, Бюл. № 5 – 4 с.

40. Патент на корисну модель 24105 Україна, МПК А21С1/00. Пристрій для перемішування в'язких харчових продуктів / Маяк В. І., Михайлов В. М., Смілик М. М. ; заявник та патентовласник ХДУХТ (Україна). – № u200611832; заявл. 10.11.2006 ; опубл. 25.06.2007 ; Бюл. № 9. – 4 с.

41. Пастообразный концентрат безалкогольного напитка (ПКН) «Ягодный» / А. И. Черевко, В. И. Маяк, Б. В. Ляшенко, О. А. Маяк // Управлінські та технологічні аспекти розвитку підприємств харчування та торгівлі : Міжнар. наук.-практ. конф., 19 листопада 2003 р. : тези доп. – Х., 2003. – С. 32–34.

42. Комплексное исследование сдвиговых свойств пастообразных концентратов напитков / А. И. Черевко, В. И. Маяк, Б. В. Ляшенко, О. А. Маяк // Управлінські та технологічні аспекти розвитку підприємств харчування та торгівлі : Міжнар. наук.-практ. конф., 19 листопада 2003 р. : тези доп. – Х., 2003. – С. 211–213.

43. Влияние процентного содержания сухих веществ на структурно-механические свойства пастообразных концентратов напитков / А. И. Черевко, В. И. Маяк, Б. В. Ляшенко, О. А. Маяк // Управлінські та технологічні аспекти розвитку підприємств харчування та торгівлі : Міжнар. наук.-практ. конф., 19 листопада 2003 р. : тези доп. – Х., 2003. – С. 220–222.

44. Черевко А. И. Зависимость реологических свойств пастообразных концентратов напитков от избыточного давления / А. И. Черевко, В. И. Маяк // Проблемы техники і технології харчових виробництв : міжвуз. наук.-прак. конф., 8-9 квітня 2004 р. : тези доп. – Полтава, 2004. – С. 21–23.

45. Черевко А. И. Новая технология производства напитков / А. И. Черевко, В. И. Маяк, А. Е. Загорулько, О. А. Маяк // Проблемы техники і технології харчових виробництв : міжвуз. наук.-прак. конф., 8-9 квітня 2004 р. : тези доп. – Полтава, 2004. – С. 317–319.

46. Черевко О. І. Дослідження густини пастоподібних концентратів напоїв в залежності від тиску / О. І. Черевко, В. І. Маяк, Б. В. Ляшенко // Проблемы техники і технології харчових виробництв : міжвуз. наук.-прак. конф., 8-9 квітня 2004 р. : тези доп. – Полтава, 2004. – С. 86–87.

47. Маяк В. И. Исследование физических параметров цукатных масс / В. И. Маяк, В. М. Михайлов // Пути повышения качества услуг общественного питания : Междунар. научн. конф., 23-24 декабря 2005 г. : тезисы докл. – Саратов, 2005. – С. 47–48.

48. Маяк В. І. Екологічні аспекти виробництва цукатів і дослідження їх структурно-механічних властивостей / В. І. Маяк // Людина та навколишнє середовище – проблеми безперервної екологічної освіти в вузах : XI наук.-метод. конф., 24-27 травня 2005 р. : матеріали. – Одеса-Ізмаїл, 2005. – С. 108–109.

49. Маяк В. И. Перспективы развития производства высоковязких концентрированных пищевых продуктов / В. И. Маяк, В. М. Михайлов, М. М. Смилык // Наука і соціальні проблеми суспільства: харчування, екологія, демографія : IV Міжнар. наук.-практ. конф, 23-24 травня 2006 р. : тези доп. – Х., 2006. – С. 284–285.

50. Маяк В. І. Дослідження вакуумного сушіння рослинної сировини / В. І. Маяк, В. М. Михайлов, М. М. Смілик // Туризм і ресторанний бізнес: сучасні тенденції та перспективи розвитку : Міжнар. наук.-практ. конф., 7-9 лютого 2007р. : матеріали. – К., 2007. – С. 270–272.

51. Маяк В. І. Влияние избыточного давления на структурно-механические свойства / В. І. Маяк, В. М. Михайлов // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті : 71 наук. конф. молодих учених, аспірантів і студентів, 17-18 квітня 2005 р. : тези доп. – У 2 ч. – К., 2007. – Ч. 2. – С. 150.

52. Залежність структурно-механічних властивостей цукатів від технологічних параметрів / Д. В. Пастольник, С. І. Проценко, Д. О. Таможников, В. І. Маяк // Актуальні проблеми розвитку харчових виробництв, ресторанного господарства і торгівлі : Всеукраїнська наук конф. студентів, 11-12 квітня 2007 р. : тези доп. – Х., 2007. – С. 142.

АНОТАЦІЯ

Маяк В.І. Наукове обґрунтування процесів та удосконалення обладнання виробництва концентрованих продуктів з плодоовочевої сировини. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв. – Харківський державний університет харчування та торгівлі Міністерства освіти і науки України, Харків, 2010.

Дисертацію присвячено вирішенню науково-технічної проблеми забезпечення населення України високоякісними концентрованими продуктами з плодоовочевої сировини (ПОС) і зниження собівартості продукції при мінімальних втратах сировини за рахунок впровадження економічно обґрунтованих способів виробництва та ресурсозберігаючого обладнання, що підвищує конкурентоспроможність переробних підприємств.

В основу створення нових ефективних способів виробництва концентрованих продуктів із ПОС високої якості за мінімальних втрат сировини покладено розробку теорії процесів і вдосконалення обладнання на основі створення теоретичних моделей гідромеханічних, тепло-масообмінних процесів, що базується на структурно-механічних характеристиках продуктів.

Запропоновано нові способи виробництва пастоподібного концентрату напоїв (ПКН) і цукатів із ПОС, розроблено конструкцію ефективної шнекової скребкової мішалки (ШСМ), встановлено раціональні параметри досліджених процесів та обладнання. Доведено економічну ефективність науково-технічних розробок і здійснено заходи з упровадження їх у виробництво та навчальний процес.

Ключові слова: концентровані продукти, плодоовочева сировина, процеси, структурно-механічні характеристики, теоретичні моделі.

АННОТАЦИЯ

Маяк В.И. Научное обоснование процессов и совершенствование оборудования производства концентрированных продуктов из плодоовощного сырья. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.18.12 – процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. – Харьковский государственный университет питания и торговли Министерства образования и науки Украины, Харьков, 2010.

Диссертация посвящена решению научно-технической проблемы обеспечения населения Украины высококачественными концентрированными продуктами из плодоовощного сырья (ПОС) и снижения себестоимости продукции при минимальных потерях сырья за счет внедрения экономически обоснованных способов производства и ресурсосберегающего оборудования, что повышает конкурентоспособность перерабатывающих предприятий.

В основу создания новых эффективных способов производства концентрированных продуктов из ПОС высокого качества при минимальных потерях сырья положена разработка

теории процессов и усовершенствование оборудования на основе создания теоретических моделей гидромеханических, тепло-массообменных процессов, которые базируются на структурно-механических характеристиках продуктов.

Предложены ресурсосберегающие способы производства концентрированных продуктов из ПОС, в частности пастообразных концентратов напитков (ПКН) и цукатов, которые предусматривают на этапе концентрирования проведение процессов вакуумного уваривания (для ПКН) и вакуумной сушки (для цукатов). Реологическими исследованиями доказано, что рациональными значениями физико-механических параметров являются: размер частиц для ПКН – $(1 \pm 0,1) \cdot 10^{-4}$ м, для цукатов – $(1,8 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$ м, концентрация сухих веществ – $76 \pm 1\%$ и $86 \pm 1\%$ соответственно.

Определено влияние рабочих параметров (температуры, давления) в процессах уваривания, транспортирования, дозирования, формования на структурно-механические характеристики, тиксотропные свойства и плотность концентрированных продуктов из ПОС. Установлены рациональные значения рабочих параметров при производстве ПКН и цукатов, которые могут использоваться при проектировании ресурсосберегающего оборудования. Показано, что разработанные ПКН и цукаты являются неньютоновскими жидкостями, «густыми пастами» и относятся к твердообразным неидеальнопластичным системам, имеют коагуляционную структуру и проявляют тиксотропные свойства.

Получены теоретические зависимости для определения компрессионных характеристик для разных режимов деформации высоковязких концентрированных продуктов и их поверхностных характеристик в условиях липкости к разным конструкционным материалам, которые могут использоваться при проектировании транспортирующего и других видов перерабатывающего оборудования с учетом их реологических особенностей.

Разработана физическая модель реодинамики высоковязких концентрированных продуктов и установлена зависимость потерь давления на трение при их течении от скорости транспортирования и геометрических параметров трубопроводов, а также теоретическая модель течения высоковязкой жидкости в круглых трубах с учетом частичного скольжения по стенкам оборудования, что соответствует реальному поведению таких жидкостей. Разработана методика расчета транспортирующих трубопроводов, которая учитывает реологические особенности продуктов.

Осуществлено численное моделирование процесса течения ПКН и цукатных масс по прямоугольным каналом шнекового нагнетателя. Показано, что высота шнекового канала практически не влияет на расход жидкости, поэтому можно уменьшить его высоту в 2 раза и тем самым снизить себестоимость изготовления шнека нагнетателя. Разработана теоретическая модель процесса течения цукатной массы при формировании неидеальнопластичных жидкостей, которые по структуре являются подобными цукатам, и получены теоретические зависимости для расчета ресурсосберегающего формующего оборудования.

Предложена конструкция шнековой скребковой мешалки (ШСМ) для перемешивания высоковязких жидкостей, которая выполнена в виде непрерывной винтовой спирали с закрепленными на ней скребками. Разработана гидродинамическая модель перемешивания

неидеальнопластичных жидкостей и определены рациональные значения угла атаки скребка ШСМ. Доказано, что при использовании ШСМ затраты энергии при перемешивании на 20...50% меньше, а эффективность теплоотдачи при вакуумном уваривании на 50...55% больше, чем при использовании традиционной якорной мешалки. Получено критериальное уравнение теплоотдачи в процессе вакуумного уваривания ПКН, которое может быть использовано при проектировании теплообменного оборудования с перемешивающими устройствами.

Исследования кинетики вакуумной сушки ПОС, как основного процесса концентрирования сырья при производстве цукатов, позволили получить уравнения для расчета кинетических коэффициентов и продолжительности вакуумной сушки.

Установлено, что при производстве ПКН и цукатов потери биологически активных веществ (БАВ) не превышают 10%. Содержание БАВ в напитках, полученных из ПКН, и цукатах, соответственно, в 1,5 и 2,2 раза больше, чем в аналогичных продуктах, производимых традиционными способами. Гарантийный срок хранения ПКН и цукатов без снижения качества составляет $15 \pm 0,5$ месяцев.

Разработаны две технологических линии для производства ПКН и цукатов. Расчет экономической эффективности свидетельствует о снижении стоимости напитка из ПКН и цукатов, соответственно, на 80 и 34%. Экономический эффект от внедрения разработанных продуктов составляет 354 тыс. грн в год.

Разработана нормативная и проектная документация на производство ПКН и цукатов. Проведены промышленные испытания с выпуском опытных партий продукции (до 3 тыс. кг) и осуществлено внедрение научных разработок в учебный процесс. Новые продукты (ПКН и цукаты) были представлены на многочисленных выставках, получили высокую оценку на дегустациях разного уровня и рекомендованы к широкомасштабному внедрению.

Ключевые слова: концентрированные продукты, плодоовощное сырье, процессы, структурно-механические характеристики, теоретические модели.

ANNOTATION

Mayak V. I. Scientific substantiation of processes and improvement of the equipment for the production of concentrated products from raw fruit and vegetables. – Manuscript.

Dissertation for the Doctor's degree by speciality 05.18.12 – Processes and Equipment for Food, Microbiological and Pharmaceutical Industries. – Kharkiv State University of Food Technology and Trade of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2010.

The dissertation is devoted to the solution of scientific and technical problem of providing population of Ukraine with high-quality concentrated products from raw fruit and vegetables (RFV) and reduction of products' cost price with minimal wastes of raw material due to the introduction of economically substantiated methods of production and resource-saving equipment that raises productivity of processing industry.

Creation of new effective ways of producing high quality concentrated products with RFV with minimal expenses of raw material grounds on the development of the theory of processes and

improvement of equipment on the basis of creating theoretical models of hydro-mechanical, heat- and mass-exchanging processes, which rests upon structural-mechanical characteristics of products.

New ways of producing paste-like concentrate of beverages (PLCB) and candied fruit with RFV are proposed. The construction of effective screw scrapper mixer (SSM) is designed. Rational parameters of the investigated processes and equipment are determined. Economic efficiency of scientific and technical developments is proved; a set of measures is performed for their implementation into production and educational process is realized.

Key words: concentrated products, raw fruit and vegetables, processes, structural-mechanical characteristics, theoretical models.

Підп. до друку 19.04.10. Формат 60×90/16. Папір офсет. Друк офсет.

Обл.-вид. арк. 1,8 Ум. друк. арк. 2,1

Тираж 100 прим. Замовл. №175

ДОД ХДУХТ, вул. Клочківська, 333, м. Харків, 61051.